

差動レーザオートコリメーション法に用いる角度センサーの開発

大阪電通大 ○宇田豊、島田尚一、精密測定研 清野慧

要 旨

差動レーザオートコリメーション法の測定精度は、角度センサーによって決定される。本研究では、臨界角付近で透過・反射率が急峻に変化する特性を利用した角度センサーの試作し、分解能 50 nrad 以下、測定範囲 30 mrad 以上を持つことを確認した。また、そのセンサーを用いて、傾斜角差を測定できるセンサーヘッドを試作した。

1. 研究の背景と目的

2 台の角度センサーを用いる差動レーザオートコリメーション法（以下 DLAC 法と呼ぶ）は、実体基準が不要で、走査テーブル運動誤差の影響を取り除いて真直形状を測定できるため、特に長さ 1 m 以上の大型部品の机上計測に適している方法である。しかし、本方法に適した角度センサーがなく、現場での計測に採用されていないのが現状で、小型で高分解能な角度センサーの開発が望まれている。本研究では、臨界角付近で透過・反射率が急峻に変化する特性を利用した角度センサーの試作を行い、性能評価を行った。また、2 台のセンサーを用いて、DLAC 法用の傾斜角差を測定できるセンサーヘッドを試作した。

2. 角度検出原理

屈折率の大きな媒質（ガラス）から小さな媒質（空気）へレーザー光が進むと、臨界角付近で図 1 に示すように急峻に透過・反射率が変化する。微小角度の検出原理は、この変化率の大きい P 偏光の性質を利用する。角度センサーの光学配置は、図 2 に示すように、底角 42° の断面が二等辺三角形形状のプリズムを使用する。プリズムへの入射角変化は、2 つのフォトダイオードで検出した透過光量と反射光量の光量変化率（ $=(\text{PD1 と PD2 の光量差})/(\text{PD1 と PD2 の光量和})$ ）として測定される。

3. 性能評価

図 3 に示す弾性ヒンジ付き片持ち梁を用いて、角度センサーの評価を行う。フィードバック付きの圧電素子により片持ち梁の角度を変化させ、圧電素子の変位量は静電容量変位計にて測定している。 5×10^{-8} rad. の高さを持つパルス状の繰り返し角度変化を与えて測定を行った結果を図 4 に示す。これより、少なくとも 5×10^{-8} rad. 以上の分解能がある

ことがわかる。PD1 と PD2 の出力が同じになる角度（ほぼ反射率が 50% の角度）から圧電素子のストローク限界（反射率が増える方向）まで駆動した結果を図 5 に示す。光量変化率が 0%～1.1% まで変化し、角度に換算すると 1.6×10^{-4} rad. 以上の測定範囲が確認できた。図 1 より、反射率が 0～-1.1% に減る方向でも測定可能と推測できることより、測定範囲は 3.2×10^{-4} rad. 以上であると考えられる。また、直線性は 1% 以下であった。

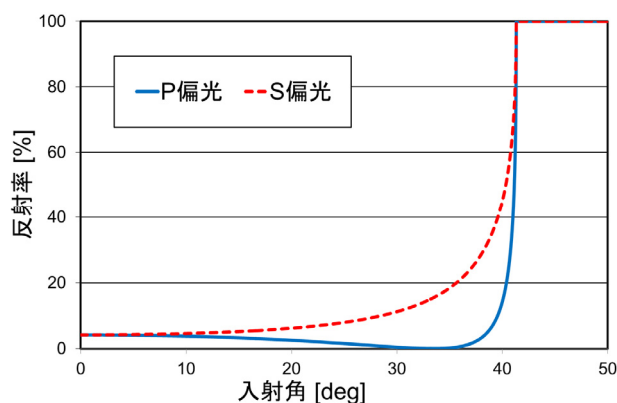


図 1 入射角と反射率の関係

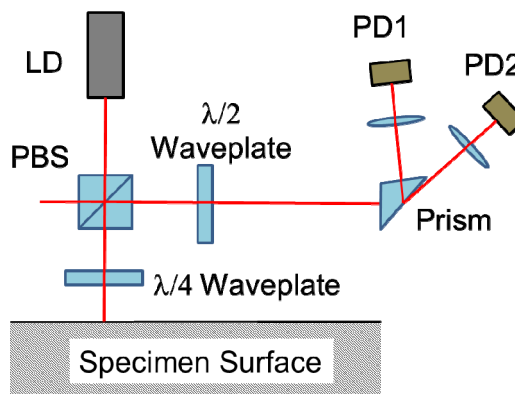


図 2 角度センサーの光学配置

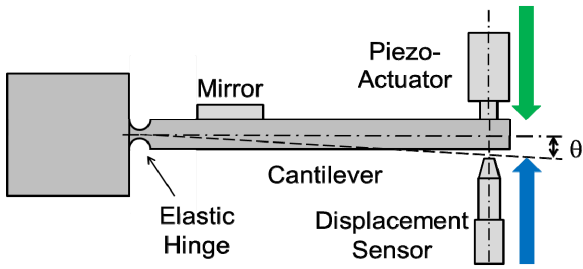


図3 性能評価装置

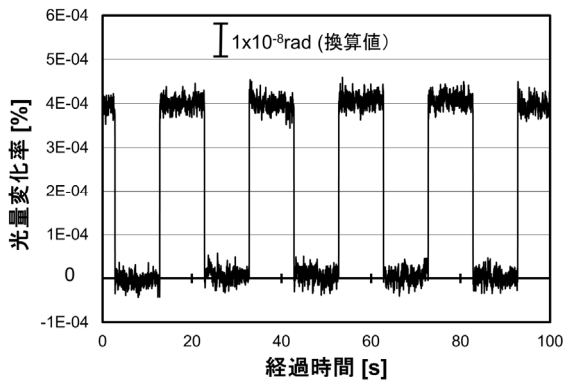


図4 5×10^{-8} rad. ステップでの繰り返し測定

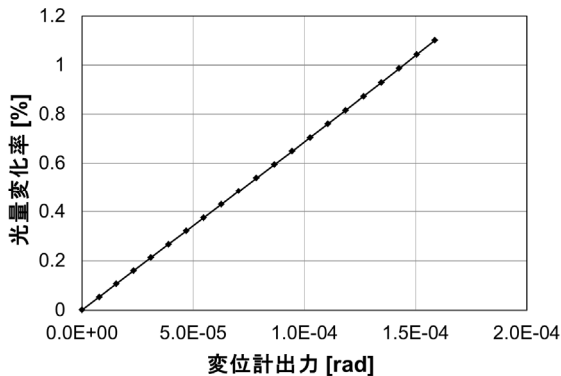


図5 測定レンジと直線性

5. DLAC 法用角度センサーの試作

机上計測を行うために $150\text{mm} \times 170\text{mm}$ のコンパクトなサイズで、角度センサーユニットを2台組み込んだ、DLAC 法用のセンサーヘッドを試作した。LD からの出射角変動の影響を打ち消すため、LD を1台にした光学系を図8に示す。

評価装置の片持ちばりに鏡を2枚取り付け、約 0.1 Hz 、約 $6 \times 10^{-6}\text{ rad}$ の振幅を持つ正弦波状の変位に対する、角度センサーユニットAとBの出力差を図7に示す。両方の角度センサーの変位は同じなので、その出力差は一定の値になるはずであるが、測定物へ入射される2本のレーザー光の平行度、各センサーユニットのゲインの影響を取り除いて

も、 $5 \times 10^{-7}\text{ rad. p-p}$ の差が残った。この原因として、コンパクトにしたための迷光の影響が考えられる。

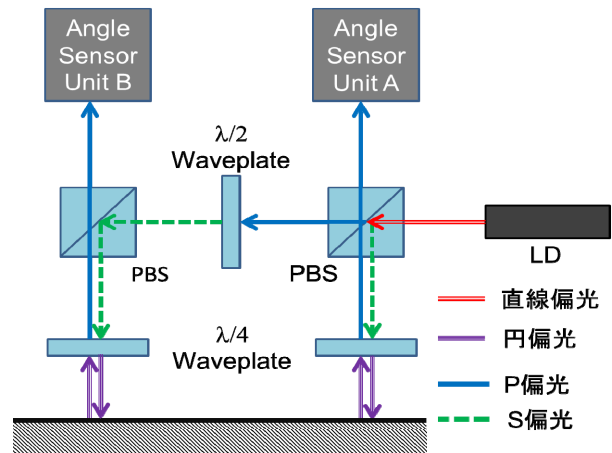


図6 試作した DLAC 法用角度センサーの光学系

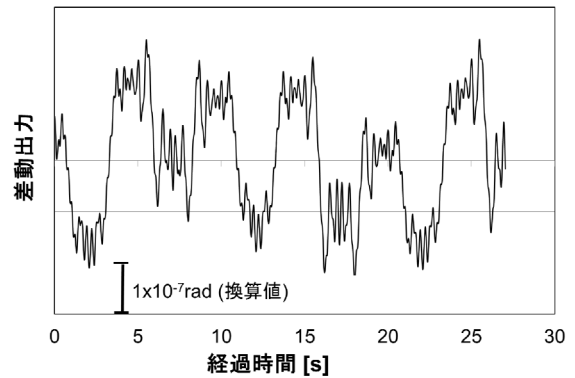


図7 DLAC 法用角度センサーの差動出力

6. まとめ

臨界角付近で透過・反射率が急峻に変化する特性を利用した角度センサーの開発を行い、分解能 50 nrad 以下、測定範囲 30 mrad 以上を確認した。角度センサーユニットを2台組み込んだ、DLAC 法用のセンサーヘッドを試作したが、 $5 \times 10^{-7}\text{ rad. p-p}$ のノイズ成分が残り、今後の課題となった。

参考文献

- 1) Uda Y, et al. Proc. 22-ASPE Annual Meeting (2007)
- 2) Uda Y, et al. Proc. 23-ASPE Annual Meeting (2008)
- 3) Uda Y, et al. Proc. 24-ASPE Annual Meeting (2009)
- 4) 宇田, 他:2010年度精密工学会北海道支部講演(2011), 7